

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 809 867

②① N° d'enregistrement national : 00 06909

⑤① Int Cl⁷ : H 01 L 21/265, H 01 L 21/20, 21/324, 21/301

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 30.05.00.

③⑩ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 07.12.01 Bulletin 01/49.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule.*

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE Etablissement de caractère scientifique techni-
que et industriel — FR.

⑦② Inventeur(s) : ASPAR BERNARD, LAGAHE
CHRYSTELLE, RAYSSAC OLIVIER et GHYSELEN
BRUNO.

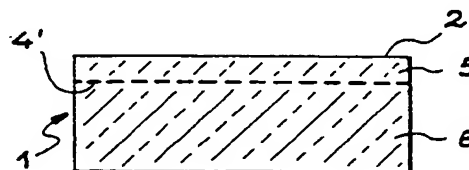
⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : BREVATOME.

⑤④ SUBSTRAT FRAGILISE ET PROCEDE DE FABRICATION D'UN TEL SUBSTRAT.

⑤⑦ L'invention concerne un substrat (1) fragilisé par la
présence d'une zone de microcavités, la zone de microca-
vités (4') délimitant une couche mince (5) avec une face (2)
du substrat (1), les microcavités (4') étant vides totalement
ou partiellement d'espèces gazeuses.

L'invention concerne également un procédé de réalisa-
tion d'un tel substrat.



SUBSTRAT FRAGILISE ET PROCEDE DE FABRICATION D'UN TEL SUBSTRAT

5 **Domaine technique**

La présente invention concerne un substrat fragilisé par la présence d'une zone de microcavités. Elle concerne aussi un procédé de fabrication d'un
10 substrat fragilisé. Elle concerne également un procédé d'obtention d'une couche mince. Elle concerne encore un procédé d'obtention d'une structure de type semiconducteur sur isolant.

L'invention s'applique en particulier à la
15 microélectronique et au domaine des semiconducteurs.

Etat de la technique antérieure

L'introduction d'espèces gazeuses dans un
20 matériau solide peut être avantageusement réalisée par implantation ionique. Ainsi, le document FR-A-2 681 472 (correspondant au brevet américain N° 5 374 564) décrit un procédé de fabrication de films minces de matériau semiconducteur. Ce document divulgue que l'implantation
25 d'un gaz rare ou d'hydrogène dans un substrat en matériau semiconducteur est susceptible d'induire, dans certaines conditions, la formation de microcavités ou de microbulles (entente désignées par le terme "platelets" dans la terminologie anglo-saxonne) à une
30 profondeur voisine de la profondeur moyenne de pénétration des ions implantés. Si ce substrat est mis en contact intime, par sa face implantée avec un raidisseur et qu'un traitement thermique est appliqué à une température suffisante, il se produit une
35 interaction entre les microcavités ou les microbulles

conduisant à une séparation du substrat semiconducteur en deux parties : un film mince semiconducteur adhérent au raidisseur d'une part, le reste du substrat semiconducteur d'autre part. La séparation a lieu au
5 niveau de la zone où les microcavités ou microbulles sont présentes. Le traitement thermique est tel que l'interaction entre les microbulles ou microcavités créées par implantation est apte à induire une séparation entre le film mince et le reste du substrat.
10 On peut donc obtenir le transfert d'un film mince depuis un substrat initial jusqu'à un raidisseur servant de support à ce film mince.

Ce procédé peut également s'appliquer à la fabrication d'un film mince de matériau solide autre
15 qu'un matériau semiconducteur, un matériau conducteur ou diélectrique, cristallin ou non.

La technique divulguée par le document FR-A-2 681 472 est connue sous le nom de Smartcut®. Elle a donné lieu à certains perfectionnements ou
20 développements. Ainsi, le document FR-A-2 748 851 divulgue un procédé qui permet, après une étape d'implantation ionique dans une gamme de doses appropriées et avant l'étape de séparation, de réaliser un traitement thermique de la partie de la plaquette
25 correspondant à la future couche mince, en particulier entre 400°C et 900°C pour le silicium, sans dégrader l'état de surface de la face plane de la plaquette et sans séparation de la couche mince. Ce traitement thermique peut faire partie des opérations
30 d'élaboration de composants électroniques ou être imposé pour d'autres raisons.

Le document FR-A-2 767 416 divulgue qu'il est possible de baisser la température de recuit si
35 l'on tient compte du budget thermique fourni au substrat au cours des différentes étapes du procédé

(étape d'implantation ionique, étape éventuelle d'adhésion du substrat sur le raidisseur, traitements intermédiaires éventuels, étape de recuit apte à permettre la séparation). Par budget thermique, on entend que, pour une étape où un apport thermique est apporté (par exemple lors de l'étape de recuit), il ne faut pas raisonner uniquement sur la température mais sur le couple temps-température fourni au substrat. De façon générale, le choix du budget thermique à utiliser pour obtenir la fracture dépend de l'ensemble des budgets thermiques appliqués au matériau de base ou à la structure à partir de l'étape d'implantation. Tous ces budgets thermiques constituent un bilan thermique qui permet d'atteindre le clivage de la structure. Ce bilan thermique est généralement formé par au moins deux budgets thermiques : celui de l'implantation et celui du recuit.

L'amélioration proposée par le document FR-A-2 773 261 est rendue possible grâce à la création dans le matériau du substrat initial d'une inclusion ou d'un ensemble d'inclusions permettant de confiner les espèces gazeuses introduites lors de l'étape d'implantation ionique. Une inclusion est un volume de matériau dont les propriétés sont différentes de celles du matériau du substrat à partir duquel on veut transférer un film mince ou des films minces. Les inclusions peuvent se présenter sous la forme d'une couche s'étendant sensiblement parallèlement à la surface au travers de laquelle on réalise l'implantation. Les formes que peuvent prendre ces volumes sont diverses et leurs dimensions peuvent aller de quelques dixièmes de nanomètres à plusieurs centaines de micromètres. Le rôle des inclusions est d'être des pièges pour les espèces gazeuses implantées. Le rayon d'action de ces pièges dépend de la nature des

inclusions réalisées. Le procédé comprend une étape préliminaire consistant à former des inclusions dans le matériau du substrat initial. Une étape postérieure consiste à planter des espèces gazeuses, de gaz rare ou non, dans ce matériau. La présence des inclusions formées à l'étape précédente entraîne un confinement des espèces gazeuses implantées. L'efficacité des inclusions est liée à leur pouvoir de confinement des espèces gazeuses.

Certains procédés divulgués par les documents cités ci-dessus permettent la réalisation, en partie ou en totalité, de composants par exemple électroniques avant la séparation au niveau de la zone implantée et le report sur un support. C'est le cas notamment du document FR-A-2 748 851.

Il est connu par ailleurs de mettre en œuvre une implantation de protons, avec des doses de l'ordre de $3.10^{16} \text{H}^+/\text{cm}^2$, pour créer une couche enterrée isolante après un traitement thermique du type RTA (pour "Rapid Thermal Annealing") ou un recuit conventionnel à haute température. On peut se reporter à ce sujet aux brevets des Etats-Unis N° 5 633 174 et 5 198 371.

Pour certaines applications, il apparaît essentiel de pouvoir réaliser des substrats comprenant une zone fragilisée. De tels substrats peuvent être appelés "substrats démontables". Ainsi, le document FR-A-2 748 851 propose un procédé permettant de créer une zone fragile enterrée à partir d'une implantation d'espèces gazeuses, comme par exemple l'hydrogène et/ou les gaz rares, introduites seules ou en combinaison. La structure ainsi obtenue (présentant une couche superficielle, une zone enterrée et un substrat) est compatible avec la réalisation partielle ou totale de composants microélectroniques, optoélectroniques ou

relevant du domaine des micro-technologies. Ce procédé permet d'éviter la formation de cloques en surface lors des traitements thermiques mis en œuvre pour la réalisation de composants électroniques. Un des moyens d'y parvenir est de contrôler la dose d'espèces gazeuses implantées. La zone fragilisée est une zone préférentielle de séparation. Si des contraintes sont judicieusement exercées sur cette zone, la séparation peut avoir lieu.

Un tel substrat démontable après la réalisation de composants électroniques peut présenter de nombreux avantages dans le domaine de la fabrication de matériaux, dans le domaine où des couches minces de matériaux contenant partiellement ou en totalité des composants électroniques sont nécessaires. Ces couches minces, constituant à leur tour des substrats, peuvent être autoportées ou reportées sur des supports qui peuvent être souples, tels que par exemple les plastiques, ou rigides, tels le verre, le silicium ou les matériaux céramiques. De tels substrats sous forme de couche mince peuvent être utilisés pour réaliser des composants photovoltaïques, des composants électroniques ou même des imageurs.

Il apparaît de plus en plus désirable de disposer de substrats démontables, c'est-à-dire présentant une couche mince séparée d'un substrat initial par une zone fragilisée, compatibles avec la mise en œuvre d'étapes technologiques destinées à fabriquer des composants dans la couche mince et pouvant impliquer des températures élevées sans altérer l'état de la couche mince. Ces étapes impliquant des températures élevées peuvent être des étapes de réalisation, totale ou partielle, de composants électroniques si la couche mince est une couche de matériau semiconducteur.

Exposé de l'invention

La présente invention permet de disposer de
5 substrats démontables répondant notamment à ce souhait.

L'invention a pour objet un procédé de
réalisation d'un substrat fragilisé comprenant :

- une étape d'introduction d'au moins une
espèce gazeuse dans une zone du substrat afin de former
10 des microcavités dans cette zone, ladite zone ainsi
fragilisée délimitant une couche mince avec une face du
substrat,

- une étape d'élimination de tout ou partie
de l'espèce gazeuse de la zone fragilisée.

15 Selon l'invention, on élimine tout ou
partie de l'espèce gazeuse de façon à éviter un effet
de pression, dans les microcavités ou microfissures,
qui pourrait induire une déformation de la surface (par
exemple sous forme de "blisters") ou une séparation au
20 cours des traitements thermiques auxquels ce substrat
fragilisé pourrait être soumis. L'objectif d'un tel
procédé est d'obtenir un substrat fragilisé en
profondeur qui soit à la fois compatible avec des
procédés de réalisation de composants à haute
25 température et apte à permettre la séparation de la
couche mince d'avec le reste du substrat.

Avantageusement, l'introduction d'au moins
une espèce gazeuse est réalisée par implantation
ionique. Cette implantation peut bien entendu être
30 assistée par une diffusion d'espèces, telle que la
diffusion activée thermiquement ou la diffusion plasma.

De préférence, l'étape d'élimination de
l'espèce gazeuse comprend un traitement thermique mené
de façon à permettre à tout ou partie de l'espèce
35 gazeuse introduite de quitter les microcavités par

diffusion. Elle peut comprendre en outre l'application de contraintes à la zone fragilisée. Si le substrat est un substrat semiconducteur, le traitement thermique de l'étape d'élimination de tout ou partie de l'espèce gazeuse peut être un traitement thermique mis en œuvre lors de la fabrication d'au moins un composant dans ladite couche mince.

Selon une variante de mise en œuvre, le procédé comprend en outre une étape de surfragilisation de la zone fragilisée. Avant l'étape de surfragilisation, il peut être avantageux de déposer sur la couche mince une couche de rigidité, par exemple un oxyde thermique. Cette couche de rigidité permet d'augmenter la fragilisation de la zone tout en évitant la formation de cloques. Cette couche, en fonction des composants à réaliser, est conservée ou éliminée après l'étape d'élimination. L'étape de surfragilisation peut comprendre un traitement thermique appliqué à la zone fragilisée avant l'étape d'élimination de l'espèce gazeuse. Elle peut comprendre aussi l'application de contraintes à la zone fragilisée. Elle peut comprendre encore l'introduction d'au moins une espèce gazeuse dans la zone fragilisée. Cette surfragilisation peut être réalisée sur l'ensemble de la zone fragilisée ou sur une ou plusieurs parties de cette zone (surfragilisation localisée).

L'introduction d'au moins une espèce gazeuse dans la zone fragilisée peut être effectuée par exemple par une méthode choisie parmi l'implantation ionique, la diffusion activée thermiquement et la diffusion plasma. L'introduction d'au moins une espèce gazeuse dans une zone du substrat, aussi bien pour la première étape du procédé, que pour une étape de surfragilisation, peut être réalisée dans un substrat dont au moins la partie correspondant à ladite couche

mince est en silicium, en matériau III-V, en SiC, en Ge, en Gan ou en matériau ferroélectrique ou piézoélectrique tel que par exemple LiNbO₃, ou encore en saphir.

5 Si le substrat est un substrat semiconducteur, la surfragilisation de la zone fragilisée peut être réalisée lors de la fabrication de tout ou partie d'au moins un composant dans ladite couche mince.

10 Si le substrat est un substrat semiconducteur, il peut comprendre, après l'élimination de l'espèce gazeuse de la zone fragilisée, au moins une étape de fabrication de tout ou partie d'au moins un composant dans ladite couche mince. Selon un mode de
15 réalisation de l'invention, l'étape de fabrication comprend une étape d'épitaxie ou d'hétéroépitaxie.

Le procédé peut comprendre une étape de solidarisation de la face de ladite couche mince avec un raidisseur.

20 L'invention a aussi pour objet un procédé d'obtention d'une couche mince, caractérisé en ce qu'il met d'abord en œuvre le procédé de réalisation d'un substrat fragilisé mentionné ci-dessus, puis met en œuvre une étape de séparation de la couche mince du
25 reste du substrat. L'étape de séparation peut être réalisée par application d'un traitement thermique et/ou par application de contraintes mécaniques.

L'invention a encore pour objet un procédé d'obtention d'une structure du type semiconducteur sur
30 isolant, caractérisé en ce qu'il met d'abord en œuvre le procédé de réalisation d'un substrat fragilisé mentionné ci-dessus et comprenant une étape de solidarisation de la face de ladite couche mince avec un raidisseur, puis met en œuvre une étape de
35 séparation de la couche mince du reste du substrat, le

raidisseur présentant à ladite couche mince une face isolante, la partie du substrat correspondant à ladite couche mince étant en matériau semiconducteur. La partie du substrat correspondant à ladite couche mince peut être en silicium, en matériau III-V, en SiC, en GaN, en LiNbO₃ ou en saphir. L'étape de séparation peut être réalisée par application d'un traitement thermique et/ou par application de contraintes mécaniques. Selon un mode de réalisation, avant solidarisation avec un raidisseur, le procédé comporte la réalisation de tout ou partie d'au moins un composant.

L'invention a enfin pour objet un substrat fragilisé par la présence d'une zone de microcavités, la zone de microcavités délimitant une couche mince avec une face du substrat, caractérisé en ce que les microcavités sont vides totalement ou partiellement d'espèces gazeuses. La zone de microcavités peut être une zone surfragilisée. Au moins la partie du substrat correspondant à ladite couche mince peut être en silicium, en matériau III-V, en SiC, en Ge, en GaN en matériau ferroélectrique ou piézoélectrique.

Brève description des dessins

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- les figures 1A à 1D illustrent des étapes d'un procédé selon l'invention permettant de transférer une couche mince de matériau sur un raidisseur,

- les figures 2A à 2I illustrent des étapes d'un procédé selon l'invention permettant de transférer une couche mince de matériau comprenant des composants

sur un raidisseur et permettant le report sélectif de ces composants sur des supports de réception.

5 **Description détaillée de modes de réalisation de l'invention**

La formation de la zone fragile par introduction d'au moins une espèce gazeuse peut être réalisée par différents moyens, tels ceux divulgués par
10 les documents FR-A-2 681 472, FR-A-2 748 851, FR-A-2 767 416 et FR-A-2 773 261 déjà cités.

L'introduction de ces espèces peut être réalisée de façon avantageuse par implantation ionique. Les espèces gazeuses sont choisies préférentiellement
15 parmi l'hydrogène, les gaz rares ou d'autres espèces susceptibles de conduire à la présence de cavités ou "platelets" ou petites microfissures. Ces espèces peuvent être implantées seules ou en combinaison. Elles peuvent être introduites simultanément ou de façon
20 séquentielle.

Par exemple, l'introduction des espèces gazeuses par implantation permet de former dans le substrat source des cavités situées dans la zone de clivage. Les cavités ou micro-cavités ou "platelets" ou microbulles peuvent se présenter sous différentes
25 formes. Elles peuvent être sphériques et/ou aplaties avec une épaisseur pouvant varier de seulement quelques distances inter-atômiques à plusieurs nanomètres. Par ailleurs, les cavités peuvent contenir une phase
30 gazeuse libre et ou des atomes de gaz issus des ions implantés, fixés sur les atomes du matériau formant les parois des cavités.

Il est cependant nécessaire que les espèces introduites se trouvent dans une configuration
35 telle qu'elles induisent la présence d'une zone

fragilisée mais qu'elles ne conduisent pas à l'apparition de cloques, encore désignées par le terme anglais "blisters", en surface notamment pendant l'étape d'élimination de l'espèce gazeuse et/ou de
5 surfragilisation.

Dans certains cas, l'étape d'introduction des espèces gazeuses peut être réalisée de façon locale, par exemple par masquage. On peut ainsi obtenir une couche fragilisée en profondeur de façon
10 discontinue. Cependant, si la distance entre les zones fragilisées n'est pas trop importante, il est possible au moment de la séparation d'obtenir une séparation continue sur toute la largeur du substrat. Ce masquage peut permettre par exemple de ne pas modifier sur toute
15 la surface les propriétés du matériau par l'introduction d'espèces gazeuses. On peut ainsi garder la bonne conductibilité électrique de la zone masquée.

L'élimination de tout ou partie des espèces gazeuses est obtenue de façon préférentielle par des
20 traitements thermiques qui permettent aux espèces de diffuser et de quitter les cavités. Cette élimination des espèces gazeuses peut également être assistée de contraintes appliquées de façon interne ou externe à la zone de clivage. Cette élimination des espèces gazeuses
25 peut éventuellement s'accompagner d'un réarrangement cristallin qui aura pour principale conséquence de modifier la morphologie des cavités ou "platelets". Ces cavités soit seront constituées de vide, soit contiendront une faible quantité d'espèces gazeuses et
30 permettront toujours de fragiliser le matériau. Cependant, étant donné que ces cavités ne contiennent plus de gaz ou contiennent peu de gaz, on peut réaliser plus aisément toutes sortes d'étapes technologiques même à haute température sans induire la présence de
35 déformations de surface ou cloques.

Les conditions qui permettent d'éliminer tout ou partie des espèces gazeuses introduites dépendent de la nature même de l'espèce gazeuse (hydrogène, hélium, sous forme ionisé ou pas, sous
5 forme moléculaire ou atomique...). Ces conditions dépendent également des conditions d'implantation (dose d'espèces introduites, profondeur de la zone de présence des cavités par rapport à la surface, budget thermique fourni au cours de l'étape d'introduction des
10 espèces gazeuses, ...).

Dans certains cas, en particulier lors de la réalisation de tout ou partie de composant, les étapes technologiques peuvent être réalisées avantageusement de façon qu'elles participent à
15 l'élimination d'une partie des espèces gazeuses.

Dans certaines conditions, il peut rester des espèces gazeuses, après l'étape d'élimination. Cependant, les espèces gazeuses restantes sont soit liées aux parois des cavités ou microfissures, soit en
20 trop faible quantité pour induire des déformations de surface.

De façon préférentielle, il est intéressant d'augmenter la fragilisation au niveau de la zone de clivage. Ainsi, une étape de surfragilisation peut être
25 réalisée. L'étape de surfragilisation est réalisée par application d'étapes de traitement thermique et/ou de contraintes au niveau de la zone fragilisée. Ces étapes pouvant être menées seules ou en combinaison de façon successive ou simultanée.

30 L'étape de surfragilisation peut comprendre une ou plusieurs étapes d'introduction de gaz ou d'espèces gazeuses telles que définies dans l'étape initiale d'introduction d'espèces gazeuses, appliquées seules ou en combinaison. Ces étapes d'introduction
35 d'espèces gazeuses peuvent être alternées avec une ou

plusieurs étapes de traitement thermique et/ou d'applications de contraintes telles que définies précédemment.

L'objectif de cette étape de
5 surfragilisation est de faciliter l'étape consistant à séparer effectivement la couche mince du reste du substrat. De façon avantageuse, cette étape de surfragilisation peut être conduite pour permettre aux
10 cavités de se développer et de former des cavités plus importantes ou microfissures et donc de surfragiliser le matériau.

L'étape de surfragilisation peut être réalisée de façon avantageuse en jouant sur les traitements thermiques et plus particulièrement en
15 contrôlant les traitements thermiques. Par exemple, on peut réaliser un traitement thermique associé à une dose qui permet de fragiliser en créant des microfissures au niveau de la zone enterrée. Cependant, ces microfissures sont telles qu'elles n'induisent pas de
20 déformation de la surface. Pour obtenir ce résultat, deux manières avantageuses peuvent être utilisées : soit on implante à relativement forte énergie par exemple à 200 keV soit on implante à plus faible énergie et après implantation on dépose un raidisseur par exemple un oxyde de silicium. La surfragilisation
25 peut être obtenue par exemple par le développement de cavités de dimensions relativement importantes qui peuvent être assimilées à des microfissures. Pour cela, on peut par exemple se mettre dans des conditions
30 limites de dose d'hydrogène implanté ($6.10^{16} \text{H}^+/\text{cm}^2$ à 210 keV) qui permettent d'obtenir la fracture à haute température par exemple aux environs de 650°C en quelques minutes mais pas à basse température (500°C). En effet, il a été montré que de façon générale si l'on
35 veut obtenir une fracture par traitement thermique, il

faut tenir compte non seulement de la température de traitement mais aussi du temps : on parle alors de budget thermique (voir le document FR-A-2 767 416). Cependant, dans certaines conditions limites, la fracture ne peut être obtenue en dessous de certaines températures. On obtient alors des microfissures formées par exemple par interaction entre les cavités de plus petites tailles, par effet de pression dans les cavités et/ou par la présence de contraintes externes ou internes et/ou par effet d'apport des espèces gazeuses vers les cavités par exemple par diffusion. Le traitement thermique peut par exemple être réalisé durant quelques minutes à 600°C. Une fois ces microfissures obtenues, on réalise un recuit à plus basse température, par exemple 500°C, durant plusieurs heures de façon à éliminer tout ou partie de l'hydrogène présent dans les cavités. Ainsi, on a créé des microfissures ou des cavités de grandes dimensions, ces cavités ou microfissures ayant été totalement ou partiellement vidées de leur gaz. Ainsi, on peut recuire à haute température la structure surfragilisée sans danger pour la couche mince. Au cours de cette étape de surfragilisation les cavités peuvent voir leur forme évoluer.

Dans une variante du procédé, cette étape de surfragilisation peut être réalisée avec des conditions d'introduction d'espèces gazeuses qui conduisent à la présence de "blisters" si on recuit par exemple à 500°C. Dans ce cas, il faut adapter les conditions de traitements thermiques et/ou la présence de contraintes de façon à fragiliser le matériau sans induire la présence de "blisters" en surface. Pour cela, on peut jouer sur des temps de recuit très longs à basse température de façon à permettre aux cavités de grossir.

Dans une autre variante on peut surfragiliser des substrats avec des conditions d'introduction d'espèces gazeuses qui ne permettent pas de conduire à la présence de "blisters" après
5 implantation ni à la séparation par traitement thermique.

De façon générale, les conditions de surfragilisation doivent être adaptées aux conditions d'introduction des espèces gazeuses. Par exemple, dans
10 le cas d'une implantation ionique, il faut bien sûr tenir compte de la dose d'espèces implantées mais aussi de l'énergie d'implantation et de la température d'implantation. Il est également essentiel pendant l'étape de surfragilisation de prendre en compte les
15 contraintes présentes au niveau de la zone fragilisée. Ces contraintes peuvent être appliquées à la structure de manière interne ou externe. Elles peuvent être par exemple des forces de traction, de cisaillement, de flexion, de pelage appliquées seules ou en combinaison.

De façon avantageuse, il est possible de réaliser entre l'étape de surfragilisation et l'étape de séparation tout ou partie d'un procédé de réalisation d'un composant microélectronique, optoélectronique ou même un micro-système. On peut même introduire des
20 étapes de dépôt, de recuit, de croissance de matériaux par épitaxie en phase liquide ou en phase gazeuse. Ces étapes peuvent par exemple permettre d'adapter l'épaisseur de la couche mince. Par exemple, pour la réalisation de composants de type CMOS on peut réaliser
25 une épitaxie d'environ 5 μm de silicium alors que pour des composants de type photovoltaïque, une épitaxie de 50 μm peut être réalisée.

Dans certains cas, cette étape de surfragilisation peut même être obtenue par tout ou
35 partie des étapes de création du ou des composants si

ces dernières étapes sont judicieusement réalisées. L'intérêt de ce procédé est qu'il est compatible avec des étapes de réalisation de composants à haute température comme par exemple 1100°C compte tenu du fait que la pression dans les cavités est fortement diminuée lors de l'étape d'élimination de tout ou partie de l'espèce gazeuse.

Après l'étape de réalisation de tout ou partie de composants, il est possible de compléter l'étape de surfragilisation ou de fragilisation par une autre étape d'introduction de gaz, par exemple par implantation de gaz rare et/ou d'hydrogène et/ou par diffusion activée thermiquement et/ou par diffusion plasma... L'introduction de ces espèces peut se faire sur toute la surface du substrat ou de façon masquée en protégeant certaines zones ou de façon localisée en réalisant des chemins d'introduction privilégiée comme par exemple des tranchées dont la profondeur peut atteindre ou dépasser la zone fragilisée ou surfragilisée. Dans ce dernier cas, l'introduction des espèces gazeuses est obtenue de façon latérale. De façon avantageuse, cette introduction peut être contrôlée par diffusion. Cette étape peut être complétée par des étapes de traitements thermiques et/ou d'application de contraintes mécaniques. Ces étapes supplémentaires augmentent la surfragilisation et peuvent favoriser l'étape de séparation. On peut ainsi minimiser, voire supprimer les contraintes à appliquer pour obtenir la séparation.

Dans le cas où des puces sont découpées dans un substrat, il est possible de surfragiliser après découpe par introduction de gaz par les bords de la puce ou même de surdoser localement.

L'étape de séparation peut être menée par différents moyens qui peuvent être des moyens

mécaniques combinés ou pas avec des moyens thermiques ou inversement. Ces moyens de séparation peuvent être appliqués de façon impulsionnelle ou continue. Des moyens de séparation à base de fluide gazeux ou liquide peuvent également être utilisés. Parmi les moyens de séparation mécanique on peut citer l'utilisation de forces de traction, de flexion, de cisaillement, de pelage, ces forces pouvant être appliquées de façon externe ou être en partie induite par les contraintes internes à la structure. Les forces externes peuvent être appliquées soit directement soit par des moyens intermédiaires tels qu'un support souple, un support rigide.

Ainsi, après séparation, la couche mince obtenue peut être autoportée ou sur un support. Dans certains cas, l'utilisation d'un support facilite la manipulation de la couche mince qui peut contenir des composants électroniques. Il peut être avantageux de solidariser, avant la séparation mais après l'étape d'élimination de tout ou partie des espèces gazeuses, le substrat éventuellement surfragilisé sur un raidisseur. Cette solidarisation peut se faire par des moyens qui permettent d'obtenir des forces très importantes ou par des moyens qui permettent d'obtenir des forces d'adhésion contrôlées et en particulier compatibles avec un décollement ultérieur au niveau de cette interface. On peut citer par exemple l'adhésion moléculaire ou la colle.

Après séparation et obtention de la couche mince, le reste du substrat peut être recyclé aussi bien en tant que substrat initial qu'en tant que support.

Les figures 1A à 1D illustrent un exemple de mise en œuvre de l'invention. Ce sont des vues en coupe transversale.

La figure 1A montre un substrat en silicium 1 au cours de l'étape d'introduction d'une espèce gazeuse. Pour cela, la face 2 de ce substrat est soumise à une implantation ionique symbolisée par les flèches 3. Pour un substrat en silicium, on peut implanter de l'hydrogène pour une énergie de 200 keV et pour une dose de l'ordre de $6.10^{16} \text{ H}^+/\text{cm}^2$. Il se forme alors une couche 4 de microcavités constituant une zone fragilisée. La couche 4 de microcavités ou zone fragilisée sépare le substrat 1 en deux parties : une couche mince 5, située entre la face implantée 2 et la zone fragilisée 4, et la partie restante 6 du substrat située sous la zone fragilisée 4

Un traitement thermique à une température de 600°C pendant 15 minutes permet par exemple de surfragiliser le substrat 1 au niveau de la couche 4 de microcavités qui deviennent des cavités plus grosses, voire des microfissures.

L'étape d'élimination de tout ou partie de l'hydrogène présent dans les microcavités est réalisée en soumettant le substrat 1 à un recuit à 500°C pendant plusieurs heures, par exemple 10 heures. La figure 1B représente le substrat 1 à l'issue de cette étape. La zone surfragilisée 4' correspond à la couche 4 de microcavités mais ces microcavités sont maintenant vidées totalement ou partiellement du gaz qu'elles contenaient.

Différentes opérations technologiques impliquant une température élevée peuvent alors être réalisées. Par exemple, l'épaisseur de la couche mince 5 peut être augmentée par épitaxie en phase gazeuse.

La figure 1C illustre une étape de solidarisation de la face 2 du substrat 1 sur un substrat support 7 ou raidisseur. La solidarisation peut être obtenue par différents moyens : par une

substance adhésive ou par adhésion moléculaire par exemple. Une couche de collage 8 peut aussi être utilisée. Le substrat 1 étant en silicium, une couche d'oxyde peut être formée sur la face 2 du substrat 1.

5 Si le raidisseur 7 possède lui aussi une couche d'oxyde de silicium, la mise en contact des deux couches d'oxyde constitue alors la couche de collage.

La figure 1D illustre une étape de séparation de la couche mince 5 de la partie restante 6 du substrat le long de la zone fragilisée. On peut ainsi obtenir une structure du type silicium sur isolant (structure SOI).

10

Les figures 2A à 2I illustrent un autre exemple de mise en œuvre de l'invention. Ce sont également des vues en coupe transversale.

15

La figure 2A illustre l'étape d'introduction d'une espèce gazeuse effectuée comme précédemment par implantation ionique. La face 12 d'un substrat semiconducteur 11, par exemple en silicium est soumise à une implantation ionique 13 qui crée une couche de microcavités 14. On réalise ensuite éventuellement une étape de surfragilisation.

20

On procède ensuite, comme précédemment à l'étape d'élimination des espèces gazeuses. Le résultat obtenu est représenté à la figure 2B où la référence 14' correspond à la couche de microcavités surfragilisées, vidées partiellement ou totalement du gaz qu'elles contenaient.

25

La figure 2C représente le substrat 11 dont la couche mince 15 a subi un certain nombre d'opérations technologiques (épitaxie, traitements thermiques, dépôts, implantation de dopants, etc...) afin de réaliser des composants électroniques 20 dans cette couche mince.

30

La figure 2D représente le substrat 11 qui a subi une étape supplémentaire d'introduction d'espèces gazeuses. La zone fragilisée porte maintenant la référence 14".

5 La figure 2E illustre la solidarisation du substrat 11 sur un substrat support 17 encore appelé raidisseur ou poignée. Si la couche mince 15 présente une certaine topologie, elle peut être planarisée avant le collage.

10 Les forces d'adhésion entre les deux substrats 11 et 17 peuvent être contrôlées de façon à maîtriser les forces de collage pour qu'elles soient suffisamment fortes pour permettre une séparation au niveau de la zone fragilisée, et pour que ces forces
15 soient relativement faibles pour permettre éventuellement ensuite un décollement au niveau de l'interface de collage. Pour contrôler ces forces d'adhésion, on peut jouer sur les nettoyages et donc l'hydrophilie des surfaces, mais aussi sur la rugosité
20 ou le pourcentage de surfaces collées.

On peut également solidariser le raidisseur par l'intermédiaire d'un adhésif qui peut permettre un collage réversible sous l'effet de traitements de type traitement thermique et/ou ultraviolet.

25 La figure 2F illustre l'étape de séparation de la couche mince 15 adhérent à la poignée 17 de la partie restante 16 du substrat le long de la zone fragilisée.

La poignée peut ensuite être découpée en
30 éléments correspondant aux composants électroniques et qui peuvent être reportés sur différents supports. Ces supports peuvent être en plastique comme sur la carte à puce et dans ce cas on utilise avantageusement de la colle pour le report. Les éléments peuvent aussi être
35 reportés sur une plaque comportant d'autres dispositifs

électroniques ou optoélectroniques et dans ce cas le report peut mettre en œuvre une technique d'adhésion moléculaire. Les éléments peuvent être reportés par des moyens classiques tels ceux dénommés "pick and place".

5 Ensuite, en exerçant une contrainte, la couche mince collée sur son support définitif peut être séparée de sa poignée par l'intermédiaire de forces mécaniques. Selon un autre exemple d'application, ces supports sont en verre ou en substrat transparent pour réaliser
10 notamment des imageurs.

La figure 2G montre la découpe en éléments 21 de la poignée 17 supportant la couche mince 15. Les éléments 21 restent cependant encore attachés à la poignée 17.

15 La figure 2H montre un élément 21 reporté sur son support définitif 22.

La figure 2I montre le résultat obtenu après élimination de la partie de la poignée subsistant dans l'élément transféré. Le support définitif 22
20 supporte un composant 20.

L'invention peut s'appliquer à la fabrication de cellules solaires. Dans ce cas, l'objectif est de réaliser une membrane de silicium monocristallin autoportée. Pour cela, on introduit dans
25 du silicium monocristallin des espèces gazeuses par exemple par implantation ionique. On peut utiliser des conditions d'implantation de $5,5 \cdot 10^{16} \text{H}^+/\text{cm}^2$ à 210 keV mais il est également possible de modifier les conditions de surfragilisation. Les traitements
30 thermiques de surfragilisation peuvent être réalisés comme précédemment afin de développer les cavités de façon à fragiliser le matériau du substrat. Dans ce cas, le traitement thermique peut être effectué à 650°C pendant une minute. Puis, l'espèce gazeuse présente
35 dans les microcavités est éliminée totalement ou

partiellement par un traitement thermique effectué à 500°C pendant 12 heures. Une épitaxie permet d'amener la couche mince à l'épaisseur désirée, par exemple une épitaxie en phase liquide à environ 900°C avec une
5 vitesse de croissance de l'ordre du $\mu\text{m}/\text{min}$. L'épitaxie permet d'obtenir des dopages différents du matériau de la couche mince. On peut ensuite réaliser sur la face avant de la couche mince des étapes technologiques comme par exemple la réalisation d'une couche
10 antireflet ou d'un plan de masse ou des zones de dopage contrôlé. Ensuite, on vient séparer la couche mince de son substrat. Par exemple, on peut utiliser des forces mécaniques ou introduire un fluide gazeux au niveau de l'interface. Ensuite, on peut reporter cette membrane
15 sur une grande plaque de verre. De façon à obtenir une grande surface de verre recouverte de silicium monocristallin, on peut réaliser des pavages avec des plaques rondes ou carrées de façon à avoir une surface totalement recouverte. Le report peut être réalisé par
20 l'intermédiaire de produits constituant l'adhésif ou par utilisation d'un collage par adhésion moléculaire. Ensuite, on peut continuer la technologie sur ses grandes surfaces de verre pour terminer la cellule. Ce pavage permet de réaliser une technologie de façon
25 collective.

Dans une variante du procédé, la dose d'implantation peut être réduite à $4,5 \cdot 10^{16} \text{H}^+/\text{cm}^2$ pour une énergie de 10 keV. Ensuite, on réalise l'épitaxie de 50 μm de silicium à 900°C durant 50 minutes. Au
30 cours de l'épitaxie, les espèces gazeuses sortent des cavités, voire du matériau, en laissant des cavités totalement ou partiellement vides qui fragilisent toujours le matériau. Dans ce cas particulier, l'étape d'élimination intègre l'étape d'épitaxie. Ces cavités
35 sont présentes au niveau de la zone implantée. Pour

séparer au niveau de la zone fragilisé, il suffit d'appliquer des efforts mécaniques sur la structure, par exemple des forces de traction et/ou de pelage et/ou de cisaillement et/ou de flexion...

5 Dans une autre variante du procédé, l'implantation peut être effectuée à 100 keV pour une dose de l'ordre de $5 \cdot 10^{16} \text{H}^+/\text{cm}^2$. Puis, un raidisseur est déposé pour éviter la formation de "blisters" au cours du traitement thermique. Ce raidisseur peut être
10 constitué par un dépôt de 5 μm d'oxyde de silicium. Un recuit de surfragilisation est ensuite réalisé : par exemple à 550°C pendant 5 minutes, puis à 500°C pendant environ 12 heures. Il faut noter que le temps de recuit nécessaire pour faire grossir les cavités peut être
15 diminué si le dépôt du raidisseur induit une contrainte importante au niveau de la zone implantée.

 Selon encore une autre variante, la zone fragilisée est obtenue par co-implantation d'hydrogène et d'hélium. A noter que l'ordre d'implantation peut
20 induire de légers changements dans les conditions de fragilisation et que la co-implantation peut permettre de diminuer la dose totale d'espèces implantées. Par exemple la co-implantation peut consister à planter 10^{16} atomes d'hydrogène/cm² à 76 keV et 10^{16} atomes
25 d'hélium/cm² à 120 keV.

 Dans certains cas, les traitements thermiques de surfragilisation et d'élimination peuvent être réalisés simultanément au cours d'un même traitement thermique qui peut être à une température
30 déterminée, par exemple 530°C.

 Cette invention est générique et s'applique à différents matériaux et à différentes applications. On peut citer par exemple le cas du matériau SiC sur lequel on fait une épitaxie de GaN et que l'on sépare
35 après épitaxie pour obtenir une structure autoportée.

Par exemple, on réalise une implantation ionique à 150 keV d'hydrogène pour une dose de $6.10^{16} \text{H}^+/\text{cm}^2$. On fait grossir les cavités pour obtenir des microfissures à l'aide d'un traitement thermique par exemple à 950°C pendant 5 minutes. A noter que le SiC est suffisamment rigide et ne conduit pas à la formation de cloques. Ensuite on réalise un traitement thermique à 800°C pendant 12 heures pour diminuer la pression dans les cavités en éliminant du gaz. Une épitaxie de GaN est ensuite réalisée à 1050°C, à partir de laquelle on peut réaliser une couche mince avec son composant ou une couche épaisse. Puis, la séparation est réalisée, par exemple à l'aide de moyens mécaniques pour obtenir une structure autoportée ou un film en couche mince reporté sur un support.

REVENDICATIONS

1. Procédé de réalisation d'un substrat fragilisé (1, 11) comprenant :

5 - une étape d'introduction d'au moins une espèce gazeuse (3, 13) dans une zone (4, 14) du substrat afin de former des microcavités dans cette zone, ladite zone ainsi fragilisée délimitant une couche mince (5, 15) avec une face (2, 12) du substrat,

10 - une étape d'élimination de tout ou partie de l'espèce gazeuse de la zone fragilisée (4, 14).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérise en ce que l'introduction d'au moins une espèce gazeuse est réalisée par implantation ionique.

15 3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérise en ce que l'étape d'élimination de l'espèce gazeuse comprend un traitement thermique mené de façon à permettre à tout ou partie de l'espèce gazeuse introduite de quitter les microcavités par diffusion.

20 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'étape d'élimination de l'espèce gazeuse comprend en outre l'application de contraintes à la zone fragilisée (4, 14).

25 5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le substrat (1, 11) étant un substrat semiconducteur, le traitement thermique de l'étape d'élimination de tout ou partie de l'espèce gazeuse est un traitement thermique mis en œuvre lors de la fabrication d'au moins un composant dans ladite couche mince.

30 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de surfragilisation de la zone fragilisée.

35

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend, avant l'étape de surfragilisation, une étape de dépôt d'une couche de rigidité sur la couche mince.

5 8. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'étape de surfragilisation comprend un traitement thermique appliqué à la zone fragilisée avant l'étape d'élimination.

10 9. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'étape de surfragilisation comprend l'application de contraintes à la zone fragilisée.

15 10. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'étape de surfragilisation comprend l'introduction d'au moins une espèce gazeuse dans la zone fragilisée.

20 11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'introduction d'au moins une espèce gazeuse dans la zone fragilisée est effectuée par une méthode choisie parmi l'implantation ionique, la diffusion activée thermiquement et la diffusion plasma.

25 12. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'étape de surfragilisation procure une surfragilisation localisée de la zone fragilisée.

30 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 12, caractérisé en ce que, le substrat étant un substrat semiconducteur, la surfragilisation de la zone fragilisée est réalisée lors de la fabrication de tout ou partie d'au moins un composant dans ladite couche mince.

35 14. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, le substrat étant un substrat semiconducteur, il comprend, après l'élimination de

l'espèce gazeuse de la zone fragilisée, au moins une étape de fabrication de tout ou partie d'au moins un composant (20) dans ladite couche mince (15).

5 15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que ladite étape de fabrication comprend une étape d'épitaxie ou d'hétéroépitaxie.

10 16. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'après la réalisation de tout ou partie du composant, le procédé comporte une étape supplémentaire d'introduction d'espèces gazeuses.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de solidarisation de la face (2, 12) de ladite couche mince (5, 15) avec un raidisseur (7, 17).

15 18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que l'étape d'introduction d'au moins une espèce gazeuse dans une zone du substrat est réalisée dans un substrat dont au moins la partie correspondant à ladite couche mince est
20 en silicium, en matériau III-V, en SiC, en Ge, en GaN ou en matériau ferroélectrique ou piézoélectrique, ou en saphir.

19. Procédé d'obtention d'une couche mince, caractérisé en ce qu'il met d'abord en œuvre le procédé
25 de réalisation d'un substrat fragilisé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, puis met en œuvre une étape de séparation de la couche mince du reste du substrat.

30 20. Procédé d'obtention d'une couche mince selon la revendication 19, caractérisé en ce que l'étape de séparation est réalisée par application d'un traitement thermique et/ou par application de contraintes mécaniques.

35 21. Procédé d'obtention d'une structure du type semiconducteur sur isolant, caractérisé en ce

qu'il met d'abord en œuvre le procédé de réalisation d'un substrat fragilisé selon la revendication 17, puis met en œuvre une étape de séparation de la couche mince (5, 15) du reste (6, 16) du substrat, le raidisseur (7, 17) présentant à ladite couche mince une face isolante, la partie du substrat correspondant à ladite couche mince étant en matériau semiconducteur.

22. Procédé d'obtention d'une structure du type semiconducteur sur isolant selon la revendication 21, caractérisé en ce que la partie du substrat correspondant à ladite couche mince est en silicium, en matériau III-V ou en SiC.

23. Procédé d'obtention d'une structure du type semiconducteur sur isolant selon l'une des revendications 21 ou 22, caractérisé en ce que l'étape de séparation est réalisée par application d'un traitement thermique et/ou par application de contraintes mécaniques.

24. Substrat fragilisé par la présence d'une zone de microcavités, la zone de microcavités (4', 14') délimitant une couche mince (5, 15) avec une face (2, 12) du substrat (1, 11), caractérisé en ce que les microcavités sont vides totalement ou partiellement d'espèces gazeuses.

25. Substrat fragilisé selon la revendication 24, caractérisé en ce que la zone de microcavités est une zone surfragilisée (4', 14').

26. Substrat fragilisé selon l'une des revendications 24 ou 25, caractérisé en ce qu'au moins la partie du substrat correspondant à ladite couche mince est en silicium, en matériau III-V, en SiC, en Ge, en GaN, en matériau ferroélectrique ou piézoélectrique.

FIG. 1 A

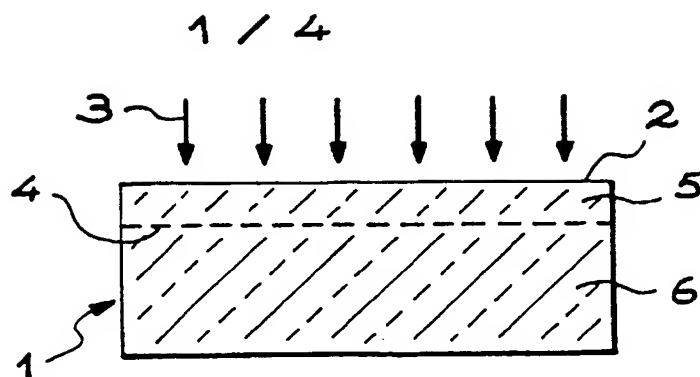


FIG. 1 B

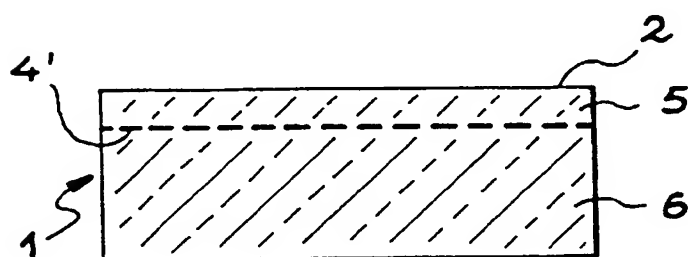


FIG. 1 C

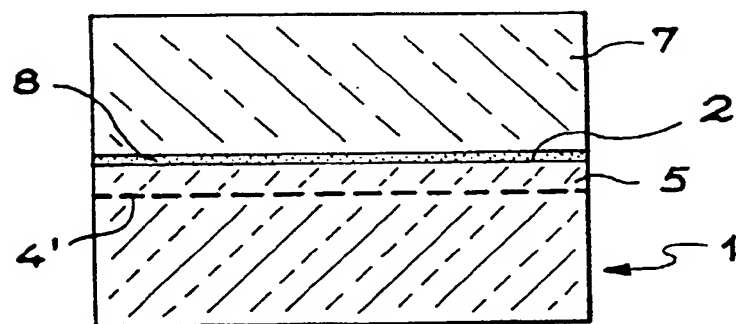
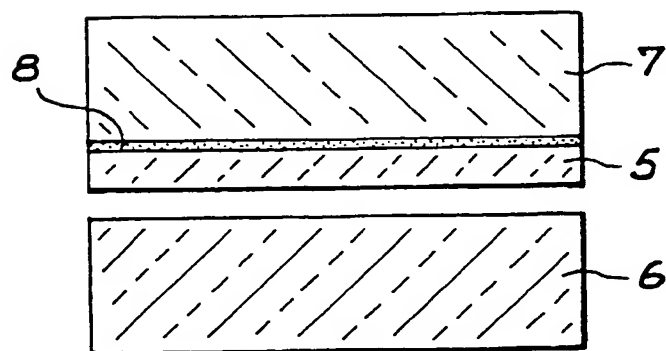


FIG. 1 D



2 / 4

FIG. 2 A

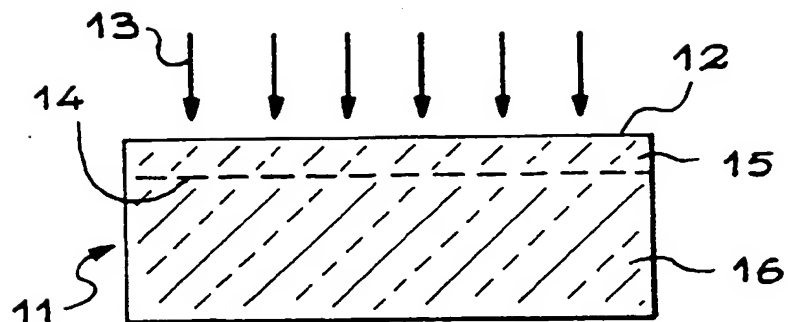


FIG. 2 B

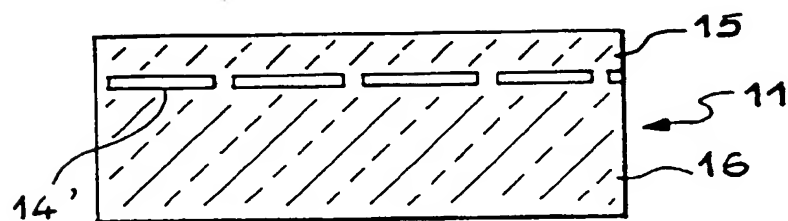
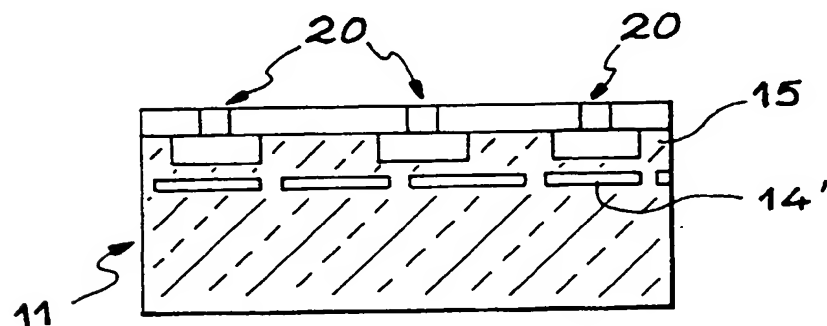


FIG. 2 C



3 / 4

FIG. 2 D

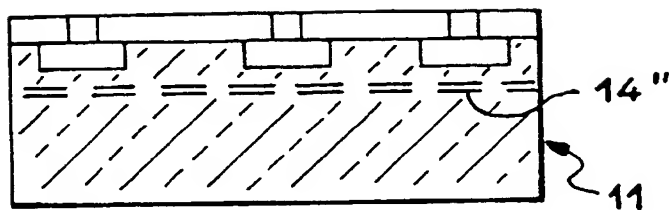


FIG. 2 E

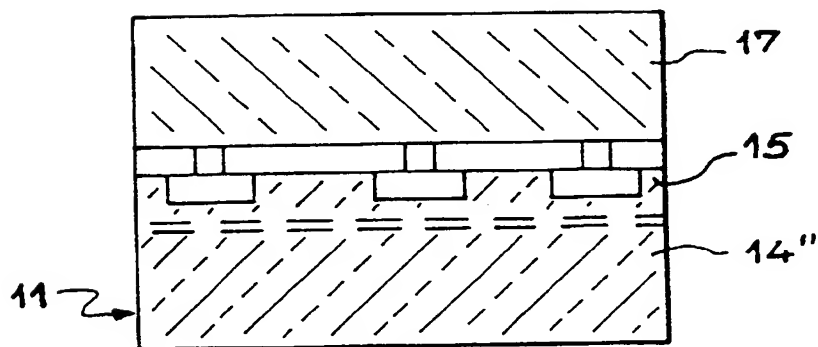
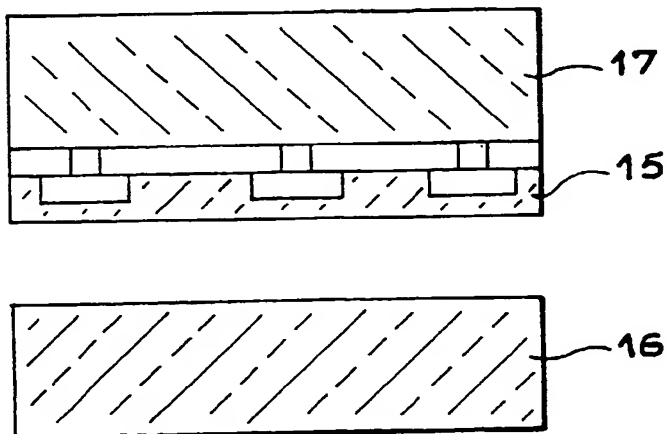


FIG. 2 F



4 / 4

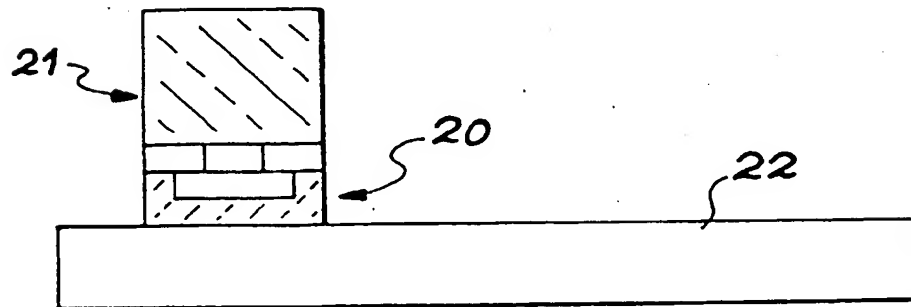
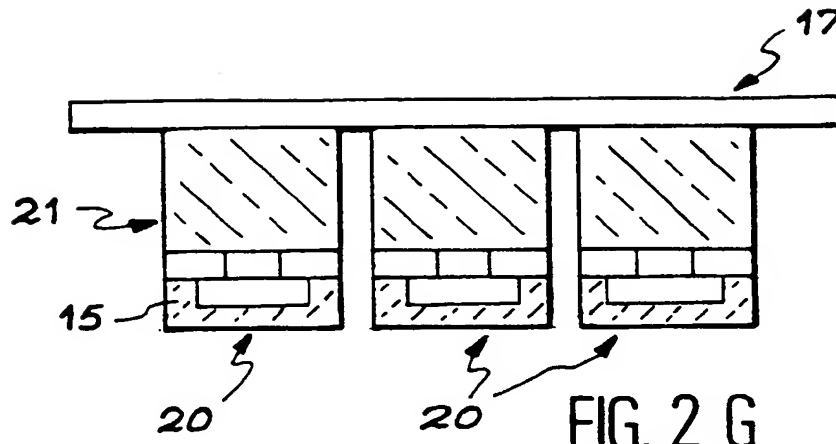


FIG. 2 H

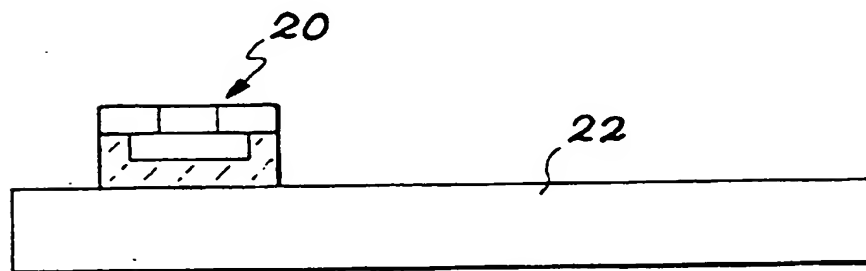


FIG. 2 I

2809867

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 588839
FR 0006909

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
D,X	FR 2 748 851 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 21 novembre 1997 (1997-11-21) * page 1, ligne 1 - ligne 15 * * page 2, ligne 20 - page 6, ligne 19 * * page 7, ligne 21 - ligne 35 * * page 9, ligne 10 - page 10, ligne 14; figures 1,2 * * page 10, ligne 29 - page 11, ligne 29; figures 3,4 * * page 12, ligne 29 - page 13, ligne 2 *	1-3,5,6, 13,14, 17-26	H01L21/265 H01L21/20 H01L21/324 H01L21/301
Y		12,16	
A		15	
D,Y	FR 2 773 261 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 2 juillet 1999 (1999-07-02) * page 3, ligne 31 - page 6, ligne 4 * * page 6, ligne 23 - ligne 30 * * page 7, ligne 3 - page 8, ligne 18 * * page 17, ligne 30 - page 18, ligne 15 * * page 21, ligne 4 - page 22, ligne 24; figures 6A-6D * * page 23, ligne 21 - page 24, ligne 17 * * page 24, ligne 32 - page 26, ligne 1 * * page 26, ligne 13 - ligne 19 *	12,16	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			H01L
A		1,2,6,7, 10,11, 13-15, 17-26	

	-/-		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
23 février 2001		Klopfenstein, P	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 588839
FR 0006909

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	FR 2 774 511 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 6 août 1999 (1999-08-06) * page 1, ligne 5 - ligne 12 * * page 7, ligne 23 - page 9, ligne 8 * * page 10, ligne 11 - page 11, colonne 7 * * page 11, ligne 22 - page 12, ligne 5 * * page 13, ligne 5 - page 14, ligne 9 * * page 14, ligne 24 - page 15, ligne 19; figures 1A-1C *	1-3,6,7, 14,15, 17-26	
Y		8	
A		9-16	
X	US 5 877 070 A (TONG Q-Y ET AL) 2 mars 1999 (1999-03-02) * colonne 1, ligne 7 - ligne 13 * * colonne 2, ligne 16 - ligne 38 * * colonne 3, ligne 45 - colonne 5, ligne 18 * * colonne 5, ligne 50 - colonne 6, ligne 21 * * colonne 8, ligne 17 - ligne 33 * * colonne 8, ligne 61 - colonne 9, ligne 8 * * colonne 11, ligne 38 - colonne 12, ligne 24 *	1-3,6, 14,18-26	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
A		5,13,15, 18	
D,X	US 5 198 371 A (LI JIANMING) 30 mars 1993 (1993-03-30) * colonne 2, ligne 10 - ligne 37 * * colonne 2, ligne 52 - colonne 3, ligne 50; figures 2,3 * * colonne 4, ligne 8 - ligne 27 *	1-3,6, 14,18, 24-26	
Y		8	
	--- -/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
23 février 2001		Klopfenstein, P	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

2809867

N° d'enregistrement
national**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la rechercheFA 588839
FR 0006909

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	<p>SOM T ET AL: "Diffusion study of plasma ion implanted H in silicon"</p> <p>NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - B: BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS, NL, NORTH-HOLLAND PUBLISHING COMPANY. AMSTERDAM, vol. 161-163, mars 2000 (2000-03), pages 677-681, XP004192309</p> <p>ISSN: 0168-583X</p> <p>* page 677 - page 678, alinéa 1 *</p> <p>* page 678, alinéa 3 - page 679; figures 1,2 *</p> <p>* page 680, colonne de droite *</p> <p>-----</p>	1-3,6, 18,22, 24-26	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
23 février 2001		Klopfenstein, P	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention</p> <p>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.</p> <p>D : cité dans la demande</p> <p>L : cité pour d'autres raisons</p> <p>.....</p> <p>& : membre de la même famille, document correspondant</p>	
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul</p> <p>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie</p> <p>A : arrière-plan technologique</p> <p>O : divulgation non-écrite</p> <p>P : document intercalaire</p>			

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant:

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)